

Plastik in der Offshore-Windbranche - Eintragspotenziale in der deutschen Nordsee

Schmitt, Viktoria

Veröffentlichungsversion / Published Version
Zeitschriftenartikel / journal article

Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Schmitt, V. (2021). Plastik in der Offshore-Windbranche - Eintragspotenziale in der deutschen Nordsee. *Europa Regional*, 26.2018(4), 46-57. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-74725-7>

Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer Deposit-Lizenz (Keine Weiterverbreitung - keine Bearbeitung) zur Verfügung gestellt. Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use:

This document is made available under Deposit Licence (No Redistribution - no modifications). We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document. This document is solely intended for your personal, non-commercial use. All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Plastik in der Offshore-Windbranche – Eintragspotenziale in der deutschen Nordsee¹

VIKTORIA SCHMITT

Zusammenfassung

Die anhaltende Plastikverschmutzung der Nordsee ist ein alarmierendes Problem. Sie hat verschiedene Ursachen – einige konnten bereits durch die Forschung identifiziert werden, andere sind noch unbekannt. Eine aktuelle explorative Studie zeigt, dass auch Offshore-Windparks, deren Zahl ständig weiter zunimmt, eine der möglichen Eintragsquellen von Plastik darstellen. Unklar war bisher, in welchen Prozessen der Offshore-Windbranche derartige Eintragspotenziale entstehen. In diesem Beitrag werden sowohl die Bereiche, in welchen Plastik eine Rolle spielt, als auch die sich daraus ergebenden Eintragspotenziale entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Offshore-Windbranche in der deutschen Nordsee identifiziert. Hierfür wurden semistrukturierte Interviews mit verschiedenen Experten der Branche durchgeführt und mithilfe einer Qualitativen Inhaltsanalyse ausgewertet. Die Ergebnisse zeigen, dass Kunststoffe sowohl in der Fertigung – insbesondere bei Rotorblättern – als auch bei den Abläufen auf See, z. B. in Form von Verpackungsmaterialien, vorkommen. Potenzielle Eintragsquellen, sowohl von Makro- als auch von Mikroplastik, liegen vor allem in der Errichtung von Offshore-Windparks und den damit verbundenen Transportprozessen. Eine Einbringung von Mikroplastik findet speziell durch Materialabträge der Bauteile von Windenergieanlagen statt. Zukünftig könnte der Rückbau von Anlagen zu einer weiteren Quelle werden; wie dieser vonstattengehen soll, ist bislang nicht im Detail bekannt. Die vorliegende qualitative Untersuchung zeigt, dass die Offshore-Windbranche Eintragspotenziale sowohl für Makro- als auch für Mikroplastik vorweist. Quantitative Untersuchungen könnten daran anknüpfen, um das Ausmaß der Plastikeinträge abzuschätzen.

Offshore-Windkraft; Wertschöpfungsprozesse der Offshore-Windenergie; Nordsee; marine Plastikverschmutzung; Eintragsquellen von Plastik

Abstract

Plastics in the Offshore Wind Industry – Input Potentials in the German North Sea

The continuous plastic pollution of the North Sea is an alarming problem and has various causes – some of them have already been identified by research, others are still unknown. A recent explorative study shows that offshore wind farms, constantly growing in number, are one of the potential sources of plastic pollution. However, so far it was unclear in which processes of the offshore wind industry such potential for input may occur. In this paper, areas in which plastics play a role as well as the resulting input potentials along the whole value chain of the offshore wind industry in the German North Sea are identified. For this purpose, guideline-oriented interviews with various experts in the industry were conducted and evaluated with the help of Qualitative Content Analysis. Results show that plastics, both macro and micro plastics, can be found in production – especially for rotor blades – and in processes at sea, e.g. in the form of packaging materials. Potential sources of input mainly lie in the construction phase of offshore wind farms and associated transport processes. Particularly, microplastics are introduced by the abrasion of material from the wind turbines' parts. In the future, decommissioning activities may become an additional source of pollution. How these will be carried out is not known in detail yet. The present qualitative study shows that the offshore wind industry has input potentials for both macro- and microplastics. Quantitative studies could pick up at this point to explore the extent of these plastic inputs.

Offshore wind power; added-value chain in the offshore wind industry; North Sea; plastic marine pollution; sources of plastic pollution

¹ Dieser Aufsatz ist im Zuge meiner Tätigkeit als Student. Hilfskraft an der AG Angewandte Geographie und Umweltplanung (Prof. Dr. Ingo Mose) an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg in dem vom Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur geförderten Forschungsprojekt „Macroplastics Pollution in the Southern North Sea – Sources, Pathways and Abatement Strategies“ (Laufzeit: 2016–2020) entstanden. Das Thema war zugleich Gegenstand meiner Masterarbeit im Studiengang M.A. Sustainability Economics and Management.

Einleitung

„Es driftet durch die Arktis, sinkt in die Tiefsee und ist sogar im menschlichen Körper nachweisbar: Plastik ist überall“ (SPIEGEL ONLINE 2019). Die Plastikverschmutzung der Ozeane mit Makro- (>5 mm) und Mikroplastik (<5 mm) stellt heute ein allgegenwärtiges Problem für Umwelt und menschliche Gesundheit dar (ANDRADY 2015; BORRELLE et al. 2020; JAMBECK et al. 2015; OSPAR COMMISSION 2014; UNEP 2016). Schätzungen zufolge wird es ohne einschneidende Maßnahmen im Jahr 2050 nach Gewicht mehr Plastik als Fische in den Ozeanen geben (MACARTHUR 2017). Auch die Nordsee ist von dieser Problematik betroffen und erhält aktuell nicht nur wachsende mediale Aufmerksamkeit, sondern steht auch im besonderen Fokus der wissenschaftlichen Forschung. So galten jüngere Untersuchungen z. B. der Verbreitung und Akkumulation von Plastikmüll in der Nordsee (SCHÖNEICH-ARGENT u. FREUND 2020) oder der Einbindung der Zivilgesellschaft bei der Identifizierung von Plastikmüll in Form von Citizen Science (ADEN u. STEPHAN 2017). Besondere Aufmerksamkeit gilt dem Ausmaß und den konkreten Auswirkungen der Plastikverschmutzung. So stellten OSTLE et al. (2019) in einer Untersuchung fest, dass die südliche Nordsee unter den Gebieten des Nordatlantiks am stärksten durch Makroplastik verschmutzt ist. In und an der Nordsee lebende Tierarten weisen vermehrt Plastikteile in ihren Mägen auf, wobei diese bislang bei jeder untersuchten Fischart sowie beispielsweise bei 97 % der an der deutschen Nordseeküste untersuchten Eissturmvögel nachgewiesen wurden (BMBF 2016; GUSE et al. 2012). Ebenso konnte eine erhebliche Belastung speziell durch Mikroplastik festgestellt werden: So fanden LORENZ et al. (2019) in einer Untersuchung des Sediments und der Wasseroberfläche der südlichen Nordsee in allen Proben Mikroplastik.

Auch die Identifikation der Eintragsquellen von Abfall, speziell des Eintrags von Plastik in die Ozeane und damit auch in die Nordsee ist seit geraumer Zeit Ge-

genstand verschiedener Forschungsvorhaben, wobei bis heute jedoch nach wie vor große Wissenslücken bestehen (HERLING et al. 2016; GUTOW et al. 2018). Eine aktuelle Studie der Arbeitsgruppe für regionale Struktur- und Umweltforschung (ARSU) konnte hierzu einen wichtigen Beitrag leisten und mithilfe der Matrix-Scoring-Methode diverse mögliche land- und seeseitige Ursachen von Abfalleinträgen identifizieren, die die deutsche Nordseeküste betreffen (SCHÄFER et al. 2019). Landbasierte Einträge stellen demnach die größte potenzielle Eintragsquelle dar, wobei diese insbesondere Tourismus- und Freizeitaktivitäten, dem Betrieb von Häfen sowie landseitigen Industrien zugeschrieben werden. Seeseitig spielt insbesondere die Fischerei eine Rolle, gefolgt von der kommerziellen Schifffahrt und der Sportbootschifffahrt. In diesem Zusammenhang findet auch die maritime Industrie einschließlich Offshore-Windparks Erwähnung: „Ein Mülleintrag ist jeweils während der Bauphase, aber auch des Betriebs, bzw. insbesondere die [der] erforderlichen Wartungs-, Inspektions- und Instandhaltungsarbeiten denkbar“ (SCHÄFER et al. 2019, S. 31). Zwar betrachtet die Studie die Offshore-Windbranche nicht speziell, dennoch kann davon ausgegangen werden, dass sie als wachsender Sektor im Bereich der maritimen Industrie eine zunehmend wichtigere Rolle spielt. So waren Ende 2020 bereits 23 Offshore-Windparks in der deutschen Nordsee in Betrieb; weitere befinden sich in Planung (DEUTSCHE WINDGUARD 2021).

Bereits bevor der massive Ausbau der Offshore-Windenergie in der deutschen Nordsee begann, hielten GREGOROWIUS und ZEPP (2006) in ihrem Artikel zur Offshore-Windkraftnutzung in der Deutschen Bucht fest, dass der Ausbau und die damit verbundenen Betriebs- sowie späteren Rückbauprozesse „Auswirkungen auf die physische und biologische Meeresumwelt“ (S. 118) mit sich bringen würden. Offshore-Windenergieanlagen (OWEA) sind aufgrund der Umweltbedingungen höheren Belastungen und somit einem höheren Verschleiß ausgesetzt als

Anlagen an Land. Sie bringen durch den Abrieb von Farb- und Lackbeschichtungen Mikroplastik in die Meere ein, wie eine Studie des Fraunhofer-Instituts für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (UMSICHT) feststellte (BERTLING et al. 2018). Über diese Erkenntnis hinaus sind die Eintragspotenziale der Offshore-Windbranche allerdings sowohl in Bezug auf Makro- als auch Mikroplastik weitestgehend unerforscht. Die vorliegende Untersuchung leistet einen Beitrag, um diese Lücke zu schließen. Sie ist als explorative Studie angelegt, mit deren Hilfe der bisher unerforschte potenzielle Plastikeintrag, der mit der Offshore-Windkraftnutzung verbunden ist, erschlossen werden soll. Hierfür wurden Experteninterviews mit Akteuren der Branche geführt, auf deren Grundlage erstmals die verschiedenen Arten von Plastik und ihre Verwendungsbereiche sowie die daraus entstehenden Eintragspotenziale entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Offshore-Windbranche in der deutschen Nordsee identifiziert werden konnten.

Die Offshore-Windbranche in der deutschen Nordsee

Entwicklung und Status Quo

Die Inbetriebnahme des ersten deutschen Offshore-Windparks (OWP) alpha ventus erfolgte im Jahr 2010. Seither wurde die Offshore-Windenergie immer weiter ausgebaut, sodass Ende 2019 34 % der europaweit installierten Offshore-Leistung aus Deutschland kamen (WIND EUROPE 2020). Die Nordsee hat im Bereich Windenergie eine besonders wichtige Rolle inne: Mit knapp 13 GW Installationsleistung befinden sich dort 70 % der europäischen Offshore-Windkraft (WIND EUROPE 2019). Ende 2020 speiste die deutsche Offshore-Windbranche 7,76 GW in das Netz ein, wovon 6,68 GW aus 23 Windparks in der Nordsee stammten (vgl. Abb. 1). Zwei davon befinden sich in der 12-Seemeilen-Zone und alle weiteren in der Ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ). Weitere vier Projekte mit geplanter Inbetriebnahme zwischen 2022 und 2025 haben bereits einen Zuschlag erhalten.

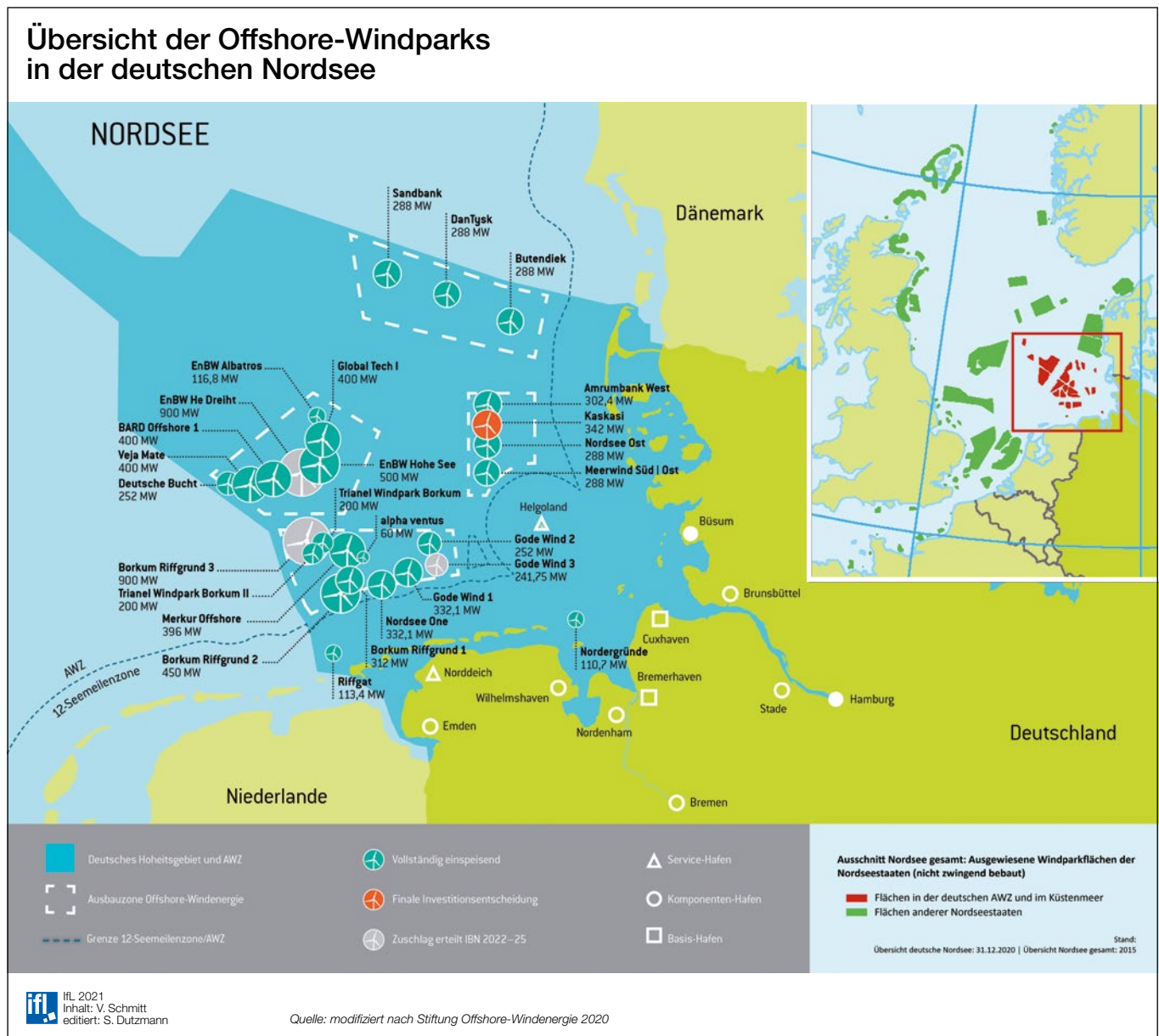


Abb. 1: Übersicht der Offshore-Windparks in der deutschen Nordsee

Der Windpark EnBW Hohe See ist seit seiner Inbetriebnahme Ende 2019 mit einer installierten Leistung von 500 MW der größte OWP Deutschlands (DEUTSCHE WINDGUARD 2021). Der umfangreiche Ausbau der Offshore-Energie liegt vor allem im Erneuerbare-Energien-Gesetz (KÖLLER et al. 2006) sowie im Aktionsplan Erneuerbare Energien (WIND:RESEARCH 2012) begründet. Das darin formulierte Ziel, im Jahr 2020 eine Offshore-Leistung von 6,5 GW zu erzeugen, hat Deutschland bereits erreicht. Für 2030 war zunächst geplant, 15 GW aus Offshore-Wind einzuspeisen; dieses

Ziel wurde im aktuellen Gesetzesentwurf zur Änderung des Windenergie-auf-See-Gesetzes (WindSeeG) auf 20 GW angehoben.

Relevante rechtliche Grundlagen

Was die administrativ-institutionelle Zuständigkeit bei Errichtung und Betrieb von OWPs betrifft, ist das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) verantwortlich für die Genehmigung von Offshore-Vorhaben innerhalb der AWZ sowie des Netzanbindungsabschnittes, welcher durch die AWZ verläuft. Gemeinsam mit dem Bundesmi-

nisterium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) ist das BSH außerdem für die Festlegung geeigneter Seegebiete für OWPs zuständig, wobei das Bundesamt für Naturschutz (BfN) in naturschutzfachlichen Fragen berät (BÖTTCHER 2013). Im Kontext der vorliegenden Untersuchung ist insbesondere das vom BSH (2018) herausgegebene *Rahmenkonzept Abfall- und Betriebsstoffe für Offshore-Windparks und deren Netzanbindungssysteme in der deutschen AWZ* relevant. Darin ist u.a. Folgendes festgelegt: „Die ständige Genehmigungspraxis für Offshore-Windparkvorhaben sowie

Anlagen zur Übertragung von Strom aus diesen Vorhaben in der deutschen ausschließlichen Wirtschaftszone (...) beinhaltet die verbindliche Regelung, dass bei Bau, Betrieb und Wartung der Anlagen keine Stoffe in das Meer eingebracht werden dürfen“ (BSH 2018, S. 1). Ferner sind stoffliche Emissionen zu minimieren und Abfälle unter Einhaltung entsprechender Verordnungen an Land zu entsorgen. Darüber hinaus sieht das Rahmenkonzept vor, dass vor Erteilung der Genehmigung eine Studie der zu erwartenden Emissionen sowie ein Abfall- und Betriebsstoffkonzept einzureichen sind. Letzteres muss u.a. Maßnahmen enthalten, wie Abfälle vermieden, wiederverwendet, verwertet oder beseitigt werden, welche Abfallarten und -mengen voraussichtlich anfallen werden und wie diese sowohl getrennt und gelagert als auch abtransportiert und entsorgt werden. *Sämtliche Vorgänge müssen dabei dokumentiert und belegt werden. Jeder mögliche Schadstoffaustritt ist sofort zu melden* und verpflichtet zur Anfertigung eines detaillierten Berichtes über das Vorkommen (BSH 2018). Über das Rahmenkonzept hinaus macht das sogenannte MARPOL-Übereinkommen, das Internationale Übereinkommen der Meeresverschmutzung durch Schiffe aus dem Jahre 1973, Vorgaben hinsichtlich schiffbetriebsbedingter Abfälle, inklusive eines Verbotes für das Einleiten von Kunststoffen sowohl durch Schiffe als auch durch Offshore-Plattformen (BSH, ohne Jahr).

Windparks, die nicht in der AWZ, sondern innerhalb der 12-Seemeilen-Zone liegen, unterliegen dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG), wodurch sich die rechtliche Lage in diesen Gebieten leicht von jener in der AWZ unterscheidet. Ein Großteil der deutschen OWP in der Nordsee liegt in der AWZ, da Windparkprojekte im Küstenmeer nur in Ausnahmefällen genehmigt werden. Dies beruht auf den weitreichenden Schutzbestimmungen an der deutschen Nordseeküste, welche zum größten Teil als Nationalpark ausgewiesen ist (KÖLLER et al. 2006).

Aufbau einer Offshore-Windenergieanlage

Die Hauptkomponenten einer OWEA bilden das Fundament, Turm, Rotor und Gondel. Technisch haben sich diese innerhalb der letzten Jahre sowohl leistungs- als auch größentechnisch weiterentwickelt. Während vor zehn Jahren die durchschnittliche Turbinenleistung noch bei knapp 3 MW mit einem Rotordurchmesser von rund 100 m lag, wurden 2019 Anlagen mit einer durchschnittlichen Leistung von 6,9 MW und einem gemittelten Rotordurchmesser von 155 m installiert. Die Wassertiefe, in der die Anlagen installiert wurden, betrug dabei im Mittel 36 m (DEUTSCHE WINDGUARD 2020). Die Dimensionen einer OWEA übersteigen damit deutlich die Höhe des Kölner Doms von 157 m (vgl. Abb. 2).

Es gibt diverse Gründungsarten, um OWEA im Meeresboden zu verankern, wobei in den meisten Fällen sogenannte Monopiles eingesetzt werden (DEUTSCHE WINDGUARD 2020). Ein Monopile ist ein Einzelpfahl, welcher innen hohl ist und in den Meeresboden gerammt wird. Diese Art der Gründung zeichnet sich durch ihre vergleichsweise simple Konstruktion und einen geringen Materialaufwand aus, ist jedoch nicht für steinige Meeresböden geeignet (BMU 2013). Im Jahr 2019 wurden an 75 % der neu errichteten Anlagen Monopiles verbaut (DEUTSCHE WINDGUARD 2020).

Um die generierte Energie jeder einzelnen OWEA in das Netz einzuspeisen, gibt es in jedem Windpark eine Umspannplattform, welche mit den Anlagen per Seekabel verbunden ist. Der Strom wird zunächst von den Anlagen zur Plattform transportiert, welche diesen dann auf ein höheres Spannungsniveau transformiert. Von dort wird der transformierte Strom weitertransportiert. Je nachdem, wie weit ein OWP von der Küste entfernt ist, wird der Strom zunächst auf einer Konverterplattform, die mit mehreren Windparks zusammenhängt, gesammelt und gelangt anschließend über eine Gleichstromleitung an Land. Der Strom jener OWPs, die nahe an der Küste liegen, wird über ein Seekabel direkt an Land geleitet (BMU 2013).

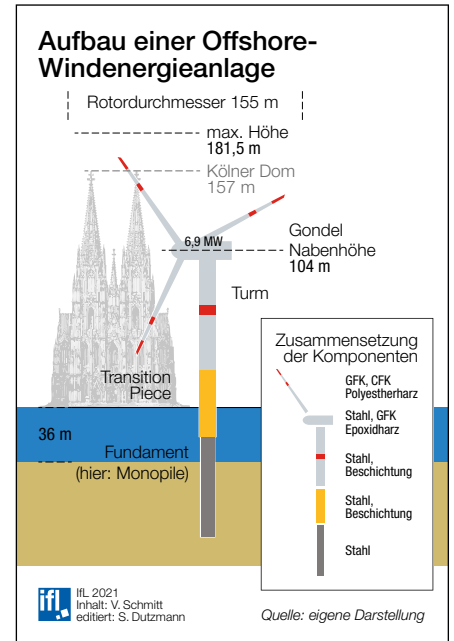


Abb. 2: Aufbau einer Offshore-Windenergieanlage

OWEA bestehen in der Regel zu 80 bis 85 % aus Stahl (PSOMOPOULOS et al. 2019). Kunststoffe sind vor allem in Form von glasfaser- und carbonfaserverstärktem Kunststoff (GFK und CFK) in Rotorblättern und Gondel verbaut. Als Kunststoffe kommen Polyurethan und Polyethylen in Beschichtungen der Außenflächen der Anlagen zum Einsatz. Informationen über die genaue Verwendung von Kunststoffen in OWEA sind aber bislang begrenzt. Daher soll diese Untersuchung hierüber detailliertere Einblicke gewinnen.

Die Wertschöpfungskette der Offshore-Windbranche

Die Wertschöpfungskette (WSK) der Offshore-Windbranche bildet die theoretische Basis für die unternommene Datenerhebung und gliedert sich, wie in Abbildung 3 dargestellt, in sieben Hauptabschnitte.

Aktivitäten wie Forschung, Entwicklung und Engineering begleiten die gesamte Wertschöpfung. Die Branche ist darüber hinaus durch verschiedenste Arten von Dienstleistungen charakterisiert: „Primär stehen diese zumeist in direktem Zusammenhang zu einzelnen Wertschöpfungs-schritten oder unterstützen Unternehmen der Offshore-Windenergie im Rahmen der

Durchführung allgemeiner Unternehmensaktivitäten“ (WIND:RESEARCH 2012, S. 22). Im Bereich Rückbau/Repowering ist zu beachten, dass Windenergieanlagen eine Lebensdauer von ca. 25 Jahren haben. Beim Rückbau geht es darum, die Anlagen nach ihrer Laufzeit zu entfernen, wohingegen beim Repowering vorhandene durch neue, leistungsfähigere Turbinen oder sogar vollständige Anlagen ersetzt werden. Grundsätzlich sollen beim Rückbau Gondel, Turm, Transition Piece und Fundament entfernt werden, wobei Fundamente laut aktueller Literatur bevorzugt abgeschnitten werden, sodass ein Teil davon im Meeresgrund verbleibt. Dabei wird argumentiert, dass die Entfernung der Fundamente aufgrund ihres marinen Bewuchses möglicherweise einen größeren Umwelteinfluss darstellt als ihr Verbleib. Konzepte für die Außerbetriebnahme von OWEA werden aktuell im Rahmen eines entsprechenden Forschungsprojektes erforscht. Bislang bestehen noch diverse Unsicherheiten über das genaue Vorgehen oder auch über die Verwertung der zurückzubauenden Komponenten (TOPHAM u. McMILLAN 2017). PSOMOPOULOS et al. (2019) betonen, dass es insbesondere an ausreichenden Recyclingtechnologien für Verbundwerkstoffe wie dem in den Rotorblättern verbauten GFK fehlt, wobei die Menge der zu recycelnden Stoffe aufgrund einer anstehenden Rückbauwelle immer weiter zunehmen wird. Bislang werden Rotorblätter zumeist geschreddert und für die Zementproduktion verbrannt (BONOU et al. 2016).

Für die vorliegende Untersuchung wurden alle Prozesse der WSK als relevant erachtet, die zunächst aus den technischen Vorüberlegungen heraus Plastik involvieren, welches in verarbeiteter Form in Kontakt mit der Meeresumwelt tritt. Gleichmaßen wichtig waren Aktivitäten, die an Land und, vor allem, direkt auf See stattfinden, sodass insbesondere die Wertschöpfungsabschnitte von der Fertigung bis zum Rückbau in Betracht gezogen wurden. Auf dieser Basis wurden geeignete Experten ausgewählt und ein Interviewleitfaden erstellt, sodass insgesamt acht semistrukturierte Interviews geführt werden konnten. Dieses methodische Vorgehen lehnt sich an Gläser und Laudel (2010) sowie Meuser und Nagel (2002) an. Ziel war es, die zwei folgenden Forschungsfragen zu beantworten: (1) „In welchen Prozessen der Offshore-Windbranche wird Plastik verwendet?“; (2) „Wo entlang der Wertschöpfungskette ergeben sich daraus potenzielle Eintragsquellen in die deutsche Nordsee?“. Mithilfe der Experten konnten, wie intendiert, alle relevanten Wertschöpfungsabschnitte von der Fertigung bis zum Rückbau abgedeckt werden. Die befragten Personen belegen Positionen in Unternehmen der Offshore-Windbranche in den Bereichen Abfall- und Umweltmanagement, Projektmanagement, Health-, Safety-, Environment-Management (HSE) sowie Vertrieb. Unter den Unternehmen befanden sich sowohl Dienstleister und Projektierer als auch Fertigungs-, Errichtungs- und Instandhaltungsfirmen (Tab. 1).

Aufgrund ihrer Funktion zeichnen sich die Experten durch ein hohes fachliches Wissen im Forschungsgebiet aus. Durch ihre Einbindung in die jeweiligen Unternehmen kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass sie tendenziell negative Aussagen vermeiden. Im Bereich Rückbau wurde eine Forschungseinrichtung befragt. Die Interviews wurden transkribiert und mithilfe der Qualitativen Inhaltsanalyse, orientiert an GLÄSER und LAUDEL (2010) sowie KUCKARTZ (2018), ausgewertet.

Ergebnisse

Verwendungsbereiche von Plastik in der Offshore-Windbranche

Bereiche und Prozesse innerhalb der Wertschöpfung der Offshore-Windbranche, die Plastik involvieren, sind in Tabelle 2 dargestellt.

In der Fertigung spielt glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK) die größte Rolle, da er Hauptbestandteil der Rotorblätter ist. Hinzu kommen hier kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff (CFK) und Polyesterharz. GFK findet sich außerdem in der Produktion der Gondeln wieder. Ein wichtiger Bestandteil für den Korrosionsschutz stellen Beschichtungssysteme in Form von kunststoffhaltigen Lacken dar, welche auf sämtliche Außenflächen aufgetragen werden. Diese, den Bereich der Fertigung betreffenden Erkenntnisse konnten bereits zuvor der Literatur entnommen werden. Auch die Ummantelung der Seekabel als Bestandteil der Netzanbindung besteht aus Kunststoff, wobei den Befragten keine Information bezüglich dessen Typs vorlag. Um eine Aus- oder Unterspülung der Tragstrukturen von OWEA zu vermeiden, wird an diesen ein sogenannter Kolkschutz angebracht. Eine von diversen Arten des Kolkschutzes stellen mit Sand gefüllte Kunststoffsäcke dar, wobei diese den Experten zufolge nur vereinzelt eingesetzt werden. Schließlich entstehen in der Fertigung Plastikabfälle wie Folien und Kabelreste oder Verpackungsmaterialien von Zuliefererteilen. Die gefertigten Teile werden in der Regel mit Planen und/oder Folien verpackt. Bei

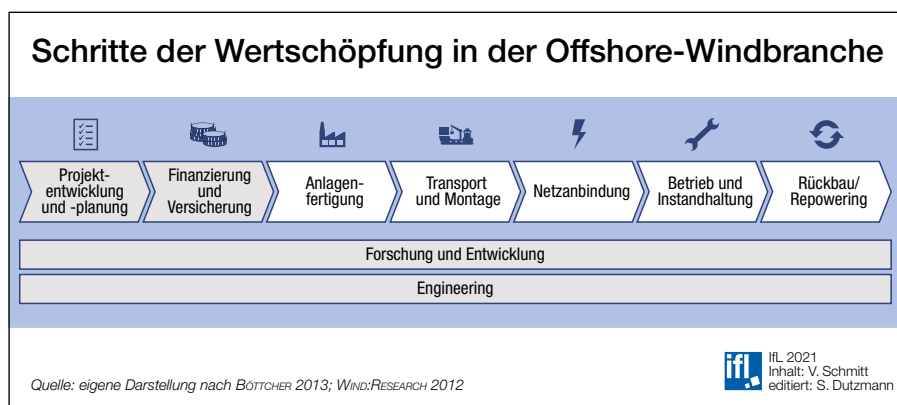


Abb. 3: Schritte der Wertschöpfung in der Offshore-Windbranche

zwei der befragten Unternehmen werden wiederverwendbare Folien mit einer Lebensdauer von ca. drei Jahren verwendet, um Turmsegmente vor ihrem Einsatz vor Feuchtigkeit zu schützen. In den Bereichen Transport und Montage sowie Betrieb und Instandhaltung spielen Verpackungsmaterialien ebenfalls eine Rolle.

Wertschöpfungsbereiche der befragten Organisationen	
Unternehmen/ Einrichtung	Wertschöpfungs- bereich
U1	Fertigung
U2	Fertigung, Dienstleistungen für Betrieb und Instandhaltung
U3	Dienstleistungen für Betrieb und Instandhaltung
U4	Forschung
U5	Netzanbindung
U6	Errichtung, Betrieb und Instandhaltung
U7	Dienstleistungen für Planung und Errichtung, Betrieb und Instandhaltung

Quelle: eigene Darstellung

Tab. 1: Wertschöpfungsbereiche der befragten Organisationen

Einerseits finden sich diese insbesondere auf Plattformen mit Wohnbetrieb – beispielsweise in Form von Lebensmittelverpackungen – wieder, da dort Bedürfnisse des alltäglichen Lebens vorhanden sind. Andererseits sind Verpackungsmaterialien im Bereich der Wartung relevant, da Ersatzteile in der Regel verpackt zu den Windparks transportiert werden. Ausschließlich bei Betrieb und Instandhaltung kommen für Rotorblattreparaturen Zwei-Komponenten-Materialien zum Einsatz, welche ebenfalls Kunststoffe enthalten. Darüber hinaus gibt es in diesem Bereich weitere, weniger relevante Kunststoffteile, wie zum Beispiel Hydraulikschläuche, die bei einer Wartung gewechselt werden. Im Allgemeinen wurde in den Interviews hervorgehoben, dass bei allen Wertschöpfungsprozessen, die auf See stattfinden, nur geringe Mengen an (Plastik-) Abfällen entstehen. In welchem Ausmaß Plastik beim Rückbau von OWPs zum Einsatz kommt, ist bislang unklar. Fakt ist jedoch, dass dabei Kompo-

nenten zurückgebaut werden müssen, welche Kunststoff enthalten.

Wertschöpfungskettenbezogene Eintragspotenziale von Plastik

In der *Fertigung* sind zwar die größten Mengen an Kunststoff involviert, jedoch zeigen die Interviews, dass von dort aus kein oder zumindest kein direktes Eintragsrisiko ausgeht. Das hier befragte Fertigungsunternehmen ist ISO-14001 zertifiziert und muss somit einen Abfallbeauftragten vorweisen, wodurch die gesetzeskonforme Handhabung und Entsorgung von Abfällen sichergestellt sein sollte; gleichzeitig wurde die Anwendung eines Mülltrennungssystems erwähnt. Vor allem aber die Tatsache, dass die Fertigung von OWEA an Land stattfindet, lässt einen Eintrag von Plastik in die Nordsee durch derartige Unternehmen unwahrscheinlich erscheinen. Somit gibt es in diesem Wertschöpfungsbereich keine ersichtlichen Eintragspotenziale.

Im Bereich *Transport und Montage* liegt das größte Eintragsrisiko bei der Errichtung und den involvierten Errichtungsschiffen: „Wenn (...) ein Windpark (...) errichtet wird mit 40, 50 Anlagen, sind auch entsprechend viele Schiffe da draußen und dann kann natürlich (...) eher mal (...) ein Eintrag passieren“ (U3). Einige Experten rückten dabei Schiffsabfälle in den Mittelpunkt: „Da sind ja auch manchmal bei den Errichtungen (...) internationale Schiffe dabei unter irgendeiner Flagge mit irgendwelchem Personal, die vielleicht dann auch die einzelnen umweltschutzrechtlichen Regelungen mehr oder weniger ernst nehmen und dann den Schiffsmüll mehr oder weniger gut entsorgen“ (U4). Bei jeglichen Logistikprozessen werden Einträge von Plastik für möglich, wenn auch wenig wahrscheinlich gehalten. Derartige Ereignisse spielen sich, wenn überhaupt, im Rahmen eines Unfalls ab, hervorgerufen „durch Extremwetterereignisse oder

Verwendung von Plastik in den verschiedenen Wertschöpfungsprozessen

Wertschöpfungs- bereich	Betroffene Bauteile und/oder Materialien	Kunststoffart oder Beispiel
Fertigung	Rotorblätter	GFK, CFK, Polyesterharz ¹
	Gondel	GFK, isolierende Kunststoffschäume
	Beschichtungen der Komponenten (insb. Turm, Gondel & Rotorblätter)	z. B. Polyurethan, Polyethylen ²
	Ummantelung der Seekabel	keine weitere Konkretisierung
	Sandsäcke des Kolksschutzes	keine weitere Konkretisierung
	Abfälle der Fertigung	Kaufteilkomponenten Verpackungen im Allgemeinen (keine weitere Konkretisierung) Folien (keine weitere Konkretisierung) Kabelreste (keine weitere Konkretisierung)
	Verpackungsmaterialien (für den Transport)	Planen (keine weitere Konkretisierung) Folien (keine weitere Konkretisierung)
Transport und Montage, Netzanbindung, Betrieb und Instandhaltung	Verpackungsmaterialien	aus dem alltäglichen Leben auf der Plattform (z. B. Lebensmittel) aus der Wartung (z. B. Ersatzteile)
	Abfälle	Verpackungsmaterialien (siehe oben) Schiffsmüll im Allgemeinen (keine weitere Konkretisierung) Plastiksäcke für Müllsammlung
Betrieb und Instandhaltung	Rotorblattreparatur	Zwei-Komponenten-Material
	Sonstige	z. B. Hydraulikschläuche
Rückbau/ Repowering	Siehe Komponenten der Fertigung, darüber hinaus abhängig von zukünftiger Vorgehensweise	

Quelle: eigene Darstellung

¹ Die Verwendung von Polyesterharz wurde der Literaturrecherche entnommen.
² Diese Inhaltsstoffe wurden der Literaturrecherche entnommen.

Tab. 2: Verwendung von Plastik in den verschiedenen Wertschöpfungsprozessen

durch Situationen, die unvorhersehbar sind“ (U6). Die Aussagen der Befragten reichten hier von einem Eintrag von Verpackungsmaterialien bis hin zu einem Containerverlust, wobei letzterer in der Schifffahrt im Allgemeinen nicht unüblich ist (ACANFORA et al. 2017). Für Umspannplattformen mit und ohne Wohnbetrieb gilt in etwa das gleiche Risiko.

Für den Wertschöpfungsbereich der *Netzanbindung* können ähnliche Eintragsrisiken angenommen werden wie jene der Errichtung und Logistik. Bezüglich eines möglichen Materialabriebs ist unklar, inwieweit die mit Kunststoff ummantelten Seekabel im Meeresboden mit der Zeit angegriffen werden. Die befragte Expertin aus diesem Bereich gab jedoch eine klare Einschätzung: „Ich bin mir ziemlich sicher, es gibt kein Kabel, was [man] nach 30 Jahren (...) aus dem Boden rausholt und [das] genauso aussieht wie vorher. (...) Da wird Materialabrieb sein, hundertprozentig“ (U5).

Im *Betrieb* von OWPs unterscheiden sich die Eintragspotenziale für Makro- und Mikroplastik. Einträge von *Makroplastik* in die Nordsee erscheinen äußerst unwahrscheinlich, wobei diese trotzdem nicht auszuschließen sind. Insbesondere wurde hier der geringe Kunststoffanteil an den OWEA betont und mit einem geringen Eintragsrisiko in Verbindung gebracht. Im Betrieb seien „allgemeine Abläufe und Prozesse hinterlegt, wo im Grunde genommen überhaupt kein Plastik vorkommt“ und die Anlagen seien „komplett hermetisch geschlossen“ (U7). Auf Umspannplattformen sind Müllcontainer fest installiert und die Besatzung wird regelmäßigen Schulungen unterzogen. Die Arbeitssicherheit hat in der Offshore-Branche einen hohen Stellenwert und „um einen sicheren Arbeitsplatz zu gewährleisten, gehört dazu auch einen sauberen Arbeitsplatz zu haben“ (U5). Somit liegen auch im Betrieb von OWPs Eintragspotenziale vor allem in Form von Unfällen vor. Ein Beispiel hierfür ist ein Ereignis im Windpark alpha ventus, als dort 2018 die Gondel-Außenverkleidung einer Windenergieanlage ab-

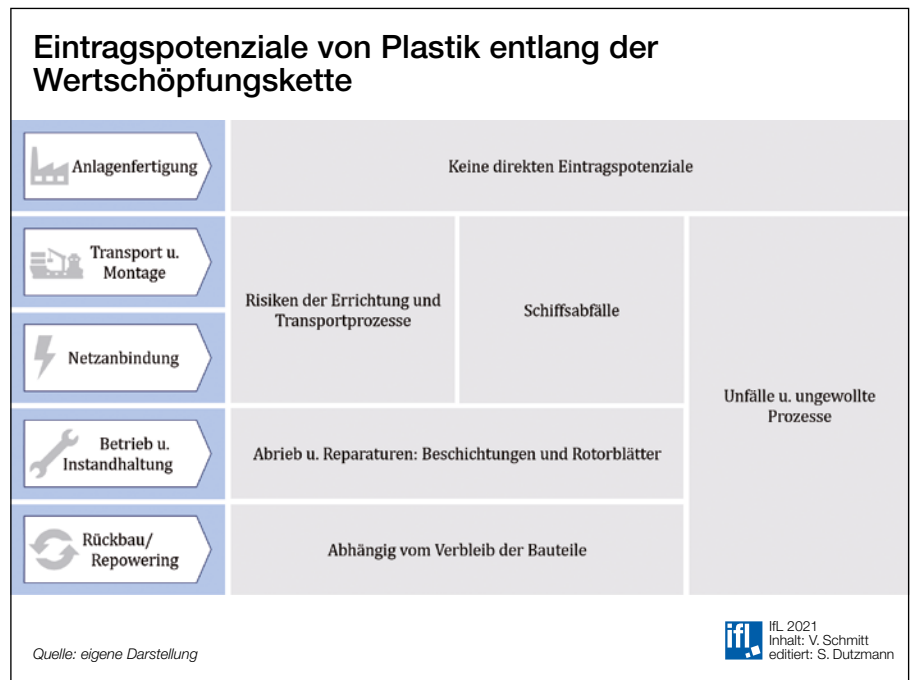


Abb. 4: Eintragspotenziale von Plastik entlang der Wertschöpfungskette

stürzte. Diese wurde entsprechend der Auflagen zwar schnellstmöglich geborgen, dennoch stellt eine derartige Bergung eine zeitintensive, komplexe Aufgabe dar, „weil die [Außenverkleidung] ja auch ein paar Kilo wiegt“ (U3). In Bezug auf *Mikroplastik* sind die Eintragspotenziale während des Betriebs eindeutiger: Wie bereits von BERTLING et al. (2018) festgehalten, wird die Beschichtung der OWEA mit der Zeit abgetragen. Zwar ist es nicht vorgesehen, dass Lackierungen während der Laufzeit der Anlagen erneuert werden, dennoch steht fest, dass deren Schichtdicke mit der Zeit abnimmt. Treten kleinere, sichtbare Schäden wie beispielsweise „kleine Kratzer“ (U7) auf, so werden sie ausgebessert. Diese können u.a. durch das Anlegen von Schiffen an den Anlagen, Treibgut innerhalb der Windparks oder Hagelstürme entstehen. Im Allgemeinen wird die Korrosion, bedingt durch die auf und in der Nordsee vorherrschenden Umweltbedingungen, als große Herausforderung gesehen. Ohne entsprechende Beschichtungssysteme würden die OWEA innerhalb kürzester Zeit große Schäden nehmen, weshalb der Lackabtrag „das geringere Übel“ (U6) sei: „Ich kann es verhindern, indem ich keine Anlagen mehr baue, aber das

will ja auch niemand“ (U3). An dieser Stelle kann eine Parallele zur Schifffahrt und anderen maritimen Sektoren gezogen werden: Alle Gegenstände, die sich im Meer befinden oder bewegen und lackiert sind, weisen eine ähnliche Problematik auf (BERTLING et al. 2018). Auch die Rotorblätter werden von den Wetter- und Witterungsbedingungen auf See angegriffen und können „Auflösungserscheinungen“ (U7) vorweisen. Diesbezüglich gab es vonseiten der Experten unterschiedliche, teils widersprüchliche Aussagen. Die klare Mehrheit beteuerte, dass Schäden an Rotorblättern selten und in geringem Ausmaß auftreten und dass sie nach ihrer Entdeckung umgehend behoben würden. Ein Experte berichtete beispielsweise, dass es in seiner sechsjährigen Laufbahn bei einem Betrieb von ca. 700 OWEA ausschließlich zwei Rotorblattreparaturen gegeben habe. Diesen Aussagen stehen die Erfahrungen eines der befragten Unternehmen gegenüber, welche deutlich schwerwiegendere Probleme mit Rotorblättern erkennen lassen. Der Befragte von U2 berichtete, dass die Vorderkanten der Blätter aller bis einschließlich 2015 installierten Anlagen nach fünf Jahren Laufzeit massive Materialabträge aufweisen – in einem Aus-

maß, dass man befürchte, sie würden brechen. Der Experte zeigte sich dessen bewusst, dass das abgetragene Material in Form von Mikroplastik in signifikanten Mengen in die Nordsee eingetragen wurde und weiterhin wird. Die beschädigten Rotorblätter werden laut Aussage repariert und mithilfe einer neuen Technologie beschichtet, welche sich innerhalb der letzten fünf Jahre hinsichtlich eines geringeren Abriebes als wirksam erwiesen habe. Ein weiterer Experte wies darauf hin, dass das Ausmaß des genannten Problems innerhalb der Branche und je nach Herstellungsprozess variiere: „Branchenspezifisch ist es wirklich so, dass manche Rotorblätter (...) anfälliger [sind] als andere“ (U7). Auch bei der *Instandhaltung* von OWPs sind Eintragspotenziale für *Mikroplastik* vorhanden. Diese liegen in der Reparatur von Rotorblättern, welche entweder mithilfe von Seilkletterern direkt an der Anlage oder auf einem Ponton vorgenommen wird. Bei letzterer Variante werden die Rotorblätter demontiert, auf die entsprechende Plattform befördert und dort repariert, wobei der Arbeitsbereich mit einem Zelt überdacht wird. Bei Unternehmen U2, wo die größte Häufigkeit von Rotorblattreparaturen vermutet werden kann, kommen laut Aussage des Experten in 75 % der Fälle Seilkletterer zum Einsatz. Diese schleifen die betroffenen Rotorblätter über dem offenen Meer ab und bessern diese anschließend mit einem Zwei-Komponentenmaterial aus. Das Abschleifen verursacht dabei einen erheblichen Eintrag von Mikroplastik in die Nordsee. Der Befragte eines der Unternehmen, bei welchem derartige Reparaturen seltener anzufallen scheinen, erklärte hingegen, dass hierbei Schleifarbeiten eine geringe Rolle spielen, sondern eher der Versuch „diese laminaren Verbindungen [des GFK] zu kleben“, welche beschädigt sind (U7).

Im Hinblick auf *Rückbau/Repowering* ist vorwegzunehmen, dass das Repowering von Windenergieanlagen im Offshore-Bereich bisher eine geringe Rolle zu spielen scheint. Unternehmen der Branche verfolgen das Ziel, dass die An-

lagen ihrer Windparks diesem Prozess nicht unterzogen werden müssen. Somit beziehen sich die hier vorliegenden Ergebnisse ausschließlich auf den Rückbau von OWEA. Die Verfahren für anstehende Rückbauaktivitäten werden aktuell in einem Forschungsprojekt ergründet. Die Expertin der befragten Forschungseinrichtung U4 wies darauf hin, dass es der Klärung bedarf, welche Komponenten zurückgebaut werden müssen und welche möglicherweise in der Nordsee verbleiben dürfen, da beispielsweise an den Fundamenten entstandene künstliche Riffe „unter Umständen sogar positiv für die Umwelt“ (U4) sein können. Gleiches gelte für die Seekabel der Netzanbindung, für dessen Rückbau der Meeresboden erneut aufgerissen werden müsse. Das Eintragspotenzial des Rückbaus ist somit u.a. abhängig vom Ausmaß des Verbleibs von Komponenten. Bei den Prozessen des Rückbaus an sich kann davon ausgegangen werden, dass ein ähnliches Eintragsrisiko vorherrscht wie bei der Errichtung, das heißt, dass Einträge im Rahmen von Unfällen oder sonstigen ungeplanten Ereignissen mit geringer Wahrscheinlichkeit stattfinden können. In diesem Wertschöpfungsabschnitt ist außerdem von hoher Wichtigkeit, dass Rückbauverfahren von der Bauart der Anlagen abhängig sind. Beispielsweise ist es möglich, in manchen Fällen die Anlagen zerstörungsfrei in ihre Einzelteile zu zerlegen, während sie in anderen Situationen zerstört werden müssen. Bezüglich des Recyclings der Anlagen betonte auch die Expertin von U4 – wie zuvor Psomopoulos et al. (2019) –, dass bisher Konzepte dazu, „wie man denn diese Massen überhaupt bewältigen will“, fehlen, denn „da wird sicherlich eine große Rückbauwelle kommen und (...) da braucht man ja auch Abnehmer dafür in der Industrie“ (U4). Ein Lösungsansatz, der hierbei in Zukunft an Relevanz gewinnen könnte, ist die Substitution von GFK und CFK bei Rotorblättern durch thermoplastische Schäume, welche nach dem Recycling wieder neu verarbeitet werden können. Auf Unternehmensseite wurde deutlich, dass der Rückbau von OWPs bei diesen

bislang eine untergeordnete Rolle spielt und vielmehr ein Zukunftsthema und -problem darstellt.

Unabhängig von Wertschöpfungsprozessen gibt es nach Auffassung der Experten diverse Faktoren, die das Eintragsrisiko von Plastik vermindern. Einerseits wurde hier die Umsetzung von Abfallkonzepten angebracht, die – wie bereits erläutert – durch das BSH verpflichtend ist. Errichtungs- und Betreiberfirmen von OWPs müssen einen Abfallbeauftragten einstellen. Beim Plattformbetrieb wird das Abfallmanagement an die Bedürfnisse der Plattform sowie an die deutschen Abfallgesetze angepasst, sodass es „für jegliche Abfallfraktion, die auf der Plattform entsteht (...), einen vorgegebenen Weg [gibt], diesen Abfall wieder zurück an Land zu bringen“ (U5). Um die regelkonforme Umsetzung des Abfallkonzeptes sicherzustellen, werden die Mitarbeiter der befragten Unternehmen regelmäßig geschult. Auf See finden Mülltrennungssysteme nach deutscher Verordnung wie bekannterweise an Land Anwendung. Als Beispiel für eine Vermeidungsstrategie von Einträgen können sogenannte Lifting Bags genannt werden: Bei Arbeiten an den OWEA werden anfallende Abfälle darin gesammelt, wobei die Säcke bei einem möglichen Absturz an der Wasseroberfläche treiben und geborgen werden können. Eine weitere Vorsichtsmaßnahme, die Unternehmen der Offshore-Windbranche üblicherweise umsetzen, besteht darin, dass bei ungünstigen Wetterverhältnissen keine Arbeiten an den Anlagen vorgenommen werden; einerseits aus Sicherheits- und Personenschutzgründen, andererseits um potenzielle Einträge zu vermeiden. Die gesetzlich vorgeschriebene Seeraumüberwachung hilft außerdem, größeres Treibgut in den Windparkzonen zu erkennen, so dass beispielsweise auch Gegenstände geborgen werden, die nicht durch den Windparkbetrieb in die Nordsee gelangt sind. Der Einbringung von Mikroplastik wird u.a. durch regelmäßige Wartungen und Sichtbegehungen der OWEA

und durch ein Überwachungssystem der Ummantelung der Seekabel entgegenwirkt. Ein Teil der befragten Unternehmen hat eigene, interne Auflagen beschlossen, z. B. was die Auswahl von Fremddienstleistern oder Mitarbeitern betrifft. Man sei in Bezug auf „Stoffe, die die Meeresumwelt gefährden könnten, als Firma sehr erpicht darauf, dass alle Leute geschult werden, wie man damit umgeht“ (U6). Im Allgemeinen betonten die Experten die bereits erläuterten strengen Vorgaben aus der Windparkgenehmigung, denen zufolge ein Eintrag von Plastik oder anderen Stoffen in die Nordsee einen Straftatbestand darstellt. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein solcher Straftatbestand aufgedeckt wird, ist aufgrund der Nachweispflicht der Unternehmen sowie der Überwachungspflicht der Behörde hoch. Firmen versuchen derartige Situation somit aus offensichtlichen Gründen zu vermeiden.

Zuletzt kann ein kurzer Blick auf die Wahrnehmung und allgemeine Grundhaltung der Experten zur vorliegenden Thematik geworfen werden, welche z. B. ginn jedes Interviews abgefragt wurde. Grundsätzlich war den Befragten die Plastikproblematik in der Nordsee bekannt, jedoch nicht zwingend in der Tiefe und im Detail. Auf Firmenebene scheint das Thema weniger bzw. nur in Einzelfällen eine Rolle zu spielen. Die Mehrzahl der Experten schätzt die Offshore-Windbranche als keine bis minimale Eintragsquelle ein – insbesondere im Vergleich zu anderen Verursachern. Hinsichtlich einer möglichen bewussten, beabsichtigten Einbringung von Plastik wurde betont, dass ein derartiges Ereignis nicht auszuschließen sei und man sich auf seine Mitarbeiter verlassen müsse; man habe jedoch bislang keine negativen Erfahrungen gemacht. Es wurde mehrfach angemerkt, dass die Existenz von OWPs – über die Erzeugung regenerativer Energie hinaus – positive Umwelteinflüsse mit sich bringen könne, bspw. durch das Fischereiverbot innerhalb der Windparkzonen oder durch die Entstehung künstlicher Riffe an den Fundamenten von OWEA.

Fazit

Die Ergebnisse der unternommenen Untersuchung zeigen, dass in allen Wertschöpfungsbereichen der Offshore-Windbranche von der Fertigung bis zum Rückbau Plastik involviert ist. In der Anlagenherstellung spielen vor allem GFK, CFK und Beschichtungssysteme eine Rolle. Die fertigen Komponenten werden für den Transport üblicherweise mit Planen und Folien versehen, welche sich bei der Errichtung in Form von Abfällen wiederfinden. Weitere Plastikabfälle entstehen im Rahmen des Plattformbetriebs der Windparks und der Netzanbindung, insbesondere durch das auf den Plattformen stattfindende alltägliche Leben. Bei der Instandhaltung fallen mit Ausnahme weniger Reparatur- und Austauschvorgänge kaum Kunststoffe an.

Schließlich konnten potenzielle Eintragsquellen von Plastik entlang der WSK der Offshore-Windbranche der Nordsee identifiziert werden. Aus der anfänglichen Fertigung resultieren dabei keine direkten Eintragspotenziale. Im weiteren Verlauf kann es vor allem im Bereich Transport und Montage zu einer unkontrollierten Einbringung kommen. Unfälle und Extremwetterereignisse sind dabei ein wichtiger Risikofaktor aller offshore stattfindenden Prozesse. Einen weiteren kritischen Faktor stellt die korrekte Entsorgung von Schiffsabfällen während der Errichtung von OWPs dar. Im Betrieb der Parks gibt es Einträge von Mikroplastik durch den Abrieb von Beschichtungen und insbesondere von Rotorblättern. Für die Angreifbarkeit letzterer existieren allerdings kontroverse Aussagen – es wurde von massiven Materialabträgen an Rotorblättern nach fünf Jahren Laufzeit berichtet, während weitere Befragte beteuerten, dass man diese äußerst selten reparieren müsse. Da Anlagen von U2 in den Windparks mehrerer der befragten Unternehmen verbaut wurden, kann vermutet werden, dass die Experten dieser Firmen diesbezügliche Informationen nicht preisgegeben haben oder nicht im Detail darüber Bescheid wussten. Nach eigener Berechnung – vorgenommen mithilfe der Aussagen von U2 – müssten

insgesamt 428 Anlagen und somit 1.284 Rotorblätter diverser OWPs von den beschriebenen Materialabträgen betroffen sein. Dieser Abrieb sowie die Schleifarbeiten bei daraus resultierenden Reparaturen lassen erlauben, dass die damit verbundenen Einträge von Mikroplastik nicht unerheblich sind. Es ist jedoch zu beachten, dass die Problematik bei neueren OWEA laut Aussage des Experten behoben werden konnte und ausschließlich jene Anlagen betroffen sind, welche bis einschließlich 2015 installiert wurden. Wenn davon ausgegangen wird, dass die Schäden nach ca. fünf Jahren Laufzeit auftreten, müssten im Jahr 2020 die letzten großen Reparaturen angefallen sein. Letztlich können potenzielle Eintragsquellen des Rückbaus – bis auf oben genannte, unerwartete Abläufe – bislang schwer abgeschätzt werden. Mit Gewissheit sind diese jedoch vom Verbleib von Komponenten in der Nordsee abhängig. Insbesondere im Falle des Verbleibs der Seekabel ist bei voranschreitender Zeit von einer Mikroplastikbelastung durch die vorherrschenden Umwelteinflüsse auszugehen.

Schlussendlich verdeutlichen die vorliegenden Ergebnisse der Untersuchung, dass die Offshore-Windbranche eine potenzielle Eintragsquelle von Makroplastik sowie eine definitive Eintragsquelle von Mikroplastik in die Nordsee darstellt. Dies war bisher in dieser Form allenfalls Gegenstand von Vermutungen und wurde noch nicht vollständig entlang der gesamten WSK untersucht. Quantitative Untersuchungsansätze könnten Aufschluss über das Ausmaß der (potenziellen) Einträge geben und in welchem Verhältnis diese zu anderen bekannten Eintragsquellen stehen. Ebenso wäre interessant zu untersuchen, welche Bedeutung den negativen Wirkungen des vorhandenen Mikroplastikeintrags im Vergleich zu anderen Umwelteinflüssen der Offshore-Windbranche beizumessen ist. Die Offshore-Windbranche sowie die Plastikverschmutzung der Nordsee werden auch in Zukunft für die Forschung von großem Interesse bleiben – beide befinden sich in einem anhaltenden Prozess des Zu-

wachses und sind dabei weiterhin mit vielen Unsicherheiten behaftet. Dieses wird auch das öffentliche Interesse am Thema weiter befeuern.

Literatur

- ACANFORA, M., J. MONTEWKA, T. HINZ u. J. MATUSIAK (2017): On the estimation of the design loads on container stacks due to excessive acceleration in adverse weather conditions. In: *Marine Structures* 53, S. 105–123.
- ADEN, C. u. K. STEPHAN (2017): Web-based Citizen Involvement in Research into Pathways and Hotspots of Marine Litter in the Southern North Sea. In: *GL Forum*, H. 2, S. 60–77.
- ANDRADY, A. L. (2015): Persistence of Plastic Litter in the Oceans. In: Bergmann, M., L. Gutow u. M. Klages (Hrsg.) (2015): *Marine Anthropogenic Litter*. Cham, S. 57–72.
- BERTLING, J., R. BERTLING u. L. HAMANN (2018): *Kunststoffe in der Umwelt: Mikro- und Makroplastik. Ursachen, Mengen, Umweltschicksale, Wirkungen, Lösungsansätze, Empfehlungen*. Oberhausen.
- BMBF – BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (2016): *Bekanntmachung. Richtlinien zur Förderung von Vorhaben zu „Plastik in der Umwelt – Quellen, Senken, Lösungsansätze“*. Bonn.
- BMU – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND NUKLEARE SICHERHEIT (2013): *Offshore-Windenergie – Ein Überblick über die Aktivitäten in Deutschland*. Berlin.
- BONOU, A., A. LAURENT u. S. I. OLSEN (2016): Life cycle assessment of on-shore and offshore wind energy-from theory to application. In: *Applied Energy* 180, S. 327–337.
- BORRELLE, S. B., J. RINGMA, K. L. LAW, C. C. MONNAHAN, L. LEBRETON, A. MCGIVERN, E. MURPHY, J. JAMBECK, G. H. LEONARD, M. A. HILLEARY, M. ERIKSEN, H. P. POSSINGHAM, H. de FROND, L. R. GERBER, B. POLIDORO, A. TAHIR, M. BERNARD, N. MALLOS, M. BARNES u. C. M. ROCHMAN (2020): Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution. In: *Science* (New York, N.Y.) 369, H. 6510, S. 1515–1518.
- BÖTTCHER, J. (2013): *Handbuch Offshore-Windenergie, Rechtliche, technische und wirtschaftliche Aspekte*. Berlin, Boston.
- BSH – BUNDESAMT FÜR SEESCHIFFFAHRT UND HYDROGRAPHIE (ohne Jahr): *MARPOL-Übereinkommen*. In: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie. https://www.bsh.de/DE/THEMEN/Schifffahrt/Umwelt_und_Schifffahrt/MARPOL/marpol_node.html (2019–10–16).
- BSH – BUNDESAMT FÜR SEESCHIFFFAHRT UND HYDROGRAPHIE (2018): *Rahmenkonzept Abfall- und Betriebsstoffe für Offshore-Windparks und deren Netzanbindungssysteme in der deutschen AWZ*. https://www.bsh.de/DE/THEMEN/Offshore/Offshore-Vorhaben/Windparks/_Anlagen/Downloads/Rahmenkonzept-Abfall-Betriebsstoffe.html?nn=1653404 (2019-08-20).
- DEUTSCHE WINDGUARD (2020): *Status des Offshore-Windenergieausbaus in Deutschland: Jahr 2019*. <https://www.windguard.de/veroeffentlichungen.html> (2020-06-12).
- DEUTSCHE WINDGUARD (2021): *Status des Offshore-Windenergieausbaus in Deutschland: Jahr 2020*. <https://www.windguard.de/veroeffentlichungen.html> (14.03.2021).
- GLÄSER, J. u. G. LAUDEL (2010): *Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse*. Wiesbaden.
- GREGOROWIUS, D. u. H. ZEPP (2006): *Offshore-Windkraftnutzung in der Deutschen Bucht. Was denken die Akteure?* In: *Europa Regional* 14, H. 3, S. 117–131.
- GUSE, N., S. WEIEL, N. MARKONES u. S. GARTHE (2012): *OSPAR Fulmar Litter EcoQO – Masse von Plastikmüllteilen in Eissturmvogelmägen. Endbericht für das Bundesamt für Naturschutz*. B.sum.
- GUTOW, L., M. RICKER, J. M. HOLSTEIN, J. DANNHEIM, E. V. STANEV u. J.-O. WOLFF (2018): Distribution and trajectories of floating and benthic marine macro-litter in the south-eastern North Sea. In: *Marine Pollution Bulletin* 131, S. 763–772.
- HERLING, J., K. LETTMANN, H. FREUND u. J.-O. WOLFF (2016): *Eintragspfade von Strandmüll an der Deutschen Nordseeküste*. In: *Natur und Umweltschutz* 15/1, S. 25–27.
- JAMBECK, J. R., R. GEYER, C. WILCOX, T. R. SIEGLER, M. PERRYMAN, A. ANDRADY, R. NARAYAN u. K. L. LAW (2015): Plastic waste inputs from land into the ocean. In: *Science* (New York, N.Y.) 347, H. 6223, S. 768–771.
- KÖLLER, J., J. KÖPPEL u. W. PETERS (Hrsg.) (2006): *Offshore Wind Energy: Research on Environmental Impacts*. Berlin.
- KUCKARTZ, U. (2018): *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung*. Weinheim.
- LORENZ, C., L. ROSCHER, M. S. MEYER, L. HILDEBRANDT, J. PRUME, M. G. J. LÖDER, S. PRIMPKE u. G. GERDTS (2019): Spatial distribution of microplastics in sediments and surface waters of the southern North Sea. In: *Environmental pollution* 252, Pt B, S. 1719–1729.
- MACARTHUR, E. (2017): Beyond plastic waste. In: *Science* (New York, N.Y.) 358, H. 6365, S. 843.
- MEUSER, M. u. U. NAGEL (2002): *ExpertenInneninterviews – vielfach erprobt, wenig bedacht*. In: Bogner, A., B. Lit-tig u. W. Menz (Hrsg.) (2002): *Das Experteninterview*. Wiesbaden, S. 71–93.
- OSPAR COMMISSION (2014): *Marine Litter Regional Action Plan*. <https://www.ospar.org/documents?v=34422> (2019-07-25).
- OSTLE, C., R. C. THOMPSON, D. BROUGHTON, L. GREGORY, M. WOOTTON u. D. G. JOHNS (2019): The rise in ocean plastics evidenced from a 60-year time series. In: *Nature communications* 10, H. 1622.
- PSOMOPOULOS, C., K. KALKANIS, S. KAMINARIS, G. IOANNIDIS u. P. PACHOS (2019): A Review of the Potential for the Recovery of Wind Turbine Blade Waste Materials. In: *Recycling* 4, H. 1.
- SCHÄFER, E., U. SCHEELE u. M. PAPENJOHANN (2019): *Erfassung der Quellen der Mülleinträge ins Meer an der deut-*

- schen Nordseeküste: Praxisanwendung der Matrix-Scoring-Methode. Oldenburg.
- SCHÖNEICH-ARGENT, R. I. u. H. FREUND (2020): Trashing our own “backyard” – Investigating dispersal and accumulation of floating litter from coastal, riverine, and offshore sources in the German Bight using a citizen science-based wooden drifter recapture approach. In: Marine Environmental Research 162, S. 105–115.
- SPIEGEL ONLINE (2019): Plastik in Ozeanen kostet Weltwirtschaft bis zu 2,2 Milliarden Euro pro Jahr. <https://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/plastik-in-ozeanen-kostet-weltwirtschaft-pro-jahr-2-2-milliarden-euro-a-1261316.html> (2019-12-14).
- TOPHAM, E. u. D. McMILLAN (2017): Sustainable decommissioning of an offshore wind farm. In: Renewable Energy 102, S. 470–480.
- UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (2016): Marine plastic debris and microplastics – Global lessons and research to inspire action and guide policy change. Nairobi.
- WIND:RESEARCH (2012): Potenziale der Offshore-Windenergie in der Wachstumsregion Ems-Achse.
- WIND EUROPE (2019): Offshore Wind in Europe: Key trends and statistics 2018. Brüssel.
- WIND EUROPE (2020): Offshore Wind in Europe: Key trends and statistics in 2019. Brüssel.

Viktoria Schmitt
 Carl von Ossietzky Universität
 Oldenburg
 Ammerländer Heerstr. 114–118
 26129 Oldenburg
viktoria.schmitt@uni-oldenburg.de

Резюме

ВИКТОРИЯ ШМИТТ

Пластик в офшорной ветроэнергетике – потенциальный вред для Северного моря Германии

Продолжающееся загрязнение Северного моря пластиком – проблема, вызывающая тревогу. У нее разные причины – некоторые из них уже были выявлены в ходе научных исследований, другие пока неизвестны. Недавнее поисковое исследование показывает, что офшорные ветровые электростанции, число которых продолжает расти, также являются одним из возможных источников вреда, причиняемого пластиком. До сих пор было неясно, в каких именно процессах офшорной ветроэнергетики возникает подобный потенциальный вред. В этой статье будут определены как области, в которых пластик играет важную роль, так и связанный с этим потенциальный вред вдоль всей цепочки создания добавленной стоимости офшорной ветроэнергетики в Северном море Германии. С этой целью были проведены полуструктурированные интервью с различными экспертами отрасли, которые анализировались с помощью качественного контент-анализа. Результаты показывают, что пластмассы присутствуют как на этапе производства, в частности, при изготовлении лопастей, так и в процессах на море, например, в виде упаковочных материалов. Потенциальные источники вреда как макро-, так и микропластика обусловлены, главным образом, сооружением офшорных ветровых электростанций и связанных с ними транспортных процессов. Попадание микропластика в окружающую среду происходит в основном за счет эрозии материала компонентов ветроэнергетических установок. В будущем демонтаж установок может стать еще одним источником загрязнения; как именно это будет происходить, пока неизвестно. Настоящее качественное исследование показывает, что для офшорной ветроэнергетики как макро-, так и микропластик несут потенциальный вред. На этом этапе могли бы быть проведены количественные исследования с тем, чтобы изучить масштабы вреда, причиняемого пластиком.

Офшорная ветроэнергетика; процессы создания добавленной стоимости в офшорной ветроэнергетике; Северное море; загрязнение морской среды пластиком; источники вреда пластика

Résumé

VIKTORIA SCHMITT

Les plastiques dans l'industrie de l'éolien offshore – Potentiels de dépôts dans la mer du Nord allemande

La pollution plastique persistante de la mer du Nord est un problème alarmant. Elle a diverses causes – certaines ont déjà été identifiées par la recherche, d'autres sont encore inconnues. Une étude exploratoire récente montre que les parcs éoliens offshore, dont le nombre ne cesse d'augmenter, sont également l'une des sources possibles de dépôts de plastique. Jusqu'à présent, il n'était pas clair dans quels processus de l'industrie éolienne offshore de tels potentiels de dépôts apparaissent. Ce document identifie à la fois les domaines dans lesquels les plastiques jouent un rôle et les potentiels de dépôts qui en résultent tout au long de la chaîne de valeur de l'industrie éolienne offshore dans la mer du Nord allemande. À cette fin, des entretiens semi-structurés ont été menés avec différents experts du secteur et évalués à l'aide d'une analyse de contenu qualitative. Les résultats montrent que les plastiques sont utilisés à la fois dans la fabrication – notamment pour les pales de rotor – et dans les processus marins, par exemple sous la forme de matériaux d'emballage. Les sources potentielles de dépôt, tant de macroplastiques que de microplastiques, résident principalement dans la construction de parcs éoliens offshore et les processus de transport associés. Les microplastiques sont introduits notamment par l'enlèvement de matériaux des composants des éoliennes. À l'avenir, le démantèlement des installations pourrait devenir une autre source ; on ne sait pas encore en détail comment cela se fera. La présente étude qualitative montre que l'industrie de l'éolien en mer présente un potentiel de dépôts de macroplastiques et de microplastiques. Les études quantitatives pourraient reprendre à ce stade pour explorer l'étendue des dépôts de plastique.

Énergie éolienne en mer; processus de création de valeur de l'énergie éolienne en mer; mer du Nord; pollution plastique marine; sources des dépôts plastiques